

Variabilidad intraespecífica de la temperatura óptima reportada para el cultivo de peces dulceacuícolas en fase de engorda

Juan Acosta-Jimeno*, Patricia Deveze-Murillo** y Jessica Méndez-Guerrero**

Se realizó un análisis de la bibliografía especializada en biología básica, ecofisiología y acuicultura de cinco especies de peces de agua dulce que son cultivados en México para consumo humano directo: mojarra, carpa, trucha, bagre y lobina. El estudio tuvo la finalidad de crear una guía para seleccionar valores de temperatura óptima para la engorda de especies piscícolas continentales que puedan servir como datos de entrada a modelos espacio-temporales para el análisis de los efectos potenciales del cambio climático en dichos cultivos. Se detectó una amplia variabilidad en los valores reportados como óptimos para cada especie, siendo los intervalos en algunos casos incluso contradictorios. Se hizo entonces un análisis de los datos por separado para cada especie, promediando los valores máximos de los intervalos publicados entre sí, al igual que los mínimos entre sí. Los intervalos promediados por especie son, para trucha arcoiris: 12.14 a 18.16 °C; carpa: 19.2 a 27 °C; lobina: 23.52 a 27.71 °C; bagre: 24.9 a 29.54 °C y tilapia: 26.57 a 30.81 °C. Tal variabilidad puede ser atribuida a una serie de factores como la heterogeneidad metodológica, variabilidad genética, el pasar por un periodo de aclimatación e, incluso, falta de rigor científico. Los resultados indican que la trucha arcoiris se encuentra en la parte más baja del intervalo de temperaturas óptimas y pudiera estar en algún grado de vulnerabilidad ante los posibles efectos del cambio climático. Estos valores pueden ser utilizados únicamente con fines de modelación y no como parámetros para condiciones de cultivo.

Palabras clave: Piscicultura, engorda, temperatura óptima, cambio climático, modelación.

Intra-specific variability of the reported optimal temperature for the grow-out stage of freshwater fish culture

A basic-biological, ecophysiological and aquacultural bibliography research was performed on five freshwater finfish species cultured in Mexico for direct human consumption: tilapia, carp, rainbow trout, largemouth bass and channel catfish. The goal of this work was to establish a guide for the selection of continental finfish species grow-out optimum temperature ranges. The study was aimed to define values good enough to be used as input for spatio-temporal modelling of climate change potential effects in all five value-chains. A very wide variability, in some cases even contradicting, was found on the optima ranges reported for each one of the species analyzed. The averaged ranges for species were rainbow trout, 12.14 to 18.16 °C; carp, 19.2 to 27 °C; largemouth bass, 23.52 to 27.71 °C; channel catfish, 24.9 to 29.54 °C and tilapia, 26.57 to 30.81 °C. Such a large variability on the reported ranges can be attributed to several reasons, including: methodologic heterogeneity, genetic variability, the onset of an acclimation process, and even lack of scientific rigor. The results show that the rainbow trout is located on the bottom of the optimal-temperature range, and thus may be in some degree of vulnerability to the forecasted warming effects of climatic change. The former data are meant to be used only for modelling purposes and not to be taken as a reference in culture conditions.

Key words: Fish culture, grow-out, optimal temperature, climate change, modeling.

Introducción

El cultivo de peces de agua dulce en México generó el año 2014 casi 3 400 millones de pesos, equi-

valentes a 14% del valor de la producción acuícola total del país (CONAPESCA 2014). Las especies que más se producen, en orden de valor anual (Fig. 1), son la mojarra tilapia (principalmente *Oreochromis niloticus* Linnaeus 1758), la carpa (principalmente *Ctenopharyngodon idella* Valenciennes 1844), la trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum 1792), el bagre de canal (*Ictalurus punctatus* Rafinesque 1818) y la lobina negra (*Micropterus salmoides* Lacépède 1802).

* Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Laboratorio de Geomática. Carr. Xalapa-Veracruz km 88.5 carretera federal Xalapa-Veracruz, 91700 Veracruz. Responsable de la correspondencia: sigveracruz@colpos.mx

** Universidad Veracruzana. Miguel Ángel de Quevedo s/n Esq. Yañez Col. Unidad Veracruzana. 91710. Veracruz, Ver., México.

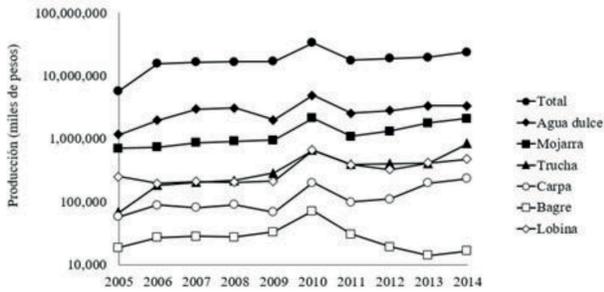


Fig. 1. Producción acuícola nacional de 2005 a 2014. Fuente: SAGARPA (2014).

Dadas las evidencias, el calentamiento del sistema climático global es un hecho (IPCC 2013) y es de esperarse, dentro de este marco, que un incremento en la temperatura a escala global se vea reflejado en los ecosistemas acuáticos (Bates *et al.* 2008). Esta situación afectaría a los organismos acuáticos, incluidos los peces (Ficke *et al.* 2007), alterando funciones fisiológicas tales como tolerancia térmica, crecimiento, metabolismo, consumo de alimentos, éxito reproductivo y su capacidad para mantener su homeostasis interna (Fry 1971). En este caso, sería de esperarse la ocurrencia de modificaciones complejas en la estructura de las comunidades ícticas a través de efectos directos e indirectos en el metabolismo, interacciones bióticas y distribución geográfica (Keleher y Rahel 1996, Jeppesen *et al.* 2010). En el medio natural, los peces pueden buscar condiciones más propicias desplazándose hacia aguas más frías de ser necesario (Matthews y Berg 1997, Ebersole *et al.* 2001), pero en condiciones de cultivo no existe esa posibilidad, por lo cual los efectos del calentamiento esperado implicarían impactos directos en la producción a través de modificaciones en la tasa metabólica y ésta, a su vez, en el rendimiento y en última instancia en la viabilidad de las operaciones (Li *et al.* 2016). Esto implica que hay un riesgo potencial para la actividad, que debe ser analizado en detalle (Instituto Nacional de Pesca 2008¹).

Kutty (1987) explica en forma diagramática que el intervalo en que cierto factor ambiental permite el crecimiento de un organismo acuá-

tico en cultivo es más amplio solamente que el intervalo de valores que permite la reproducción (Fig. 2). Sumpter (1992) indica que en peces como la trucha se ha demostrado que la temperatura, como factor regulador del metabolismo, tiene una correlación directa con el crecimiento hasta cierto punto, después del cual la relación se invierte y el crecimiento disminuye. De esta forma, el mantenimiento del bienestar del organismo, en tanto que condiciona la producción de muchas maneras (Ashley 2007, Huntingford y Kadri 2009, Mancuso 2013), es importante en el proceso y, desde luego, la temperatura tiene mucho que ver con él. Por lo anterior, si se desea determinar el efecto que el cambio climático puede tener en la piscicultura, el punto de partida es analizar su efecto potencial en la fase de engorda para las especies de interés.

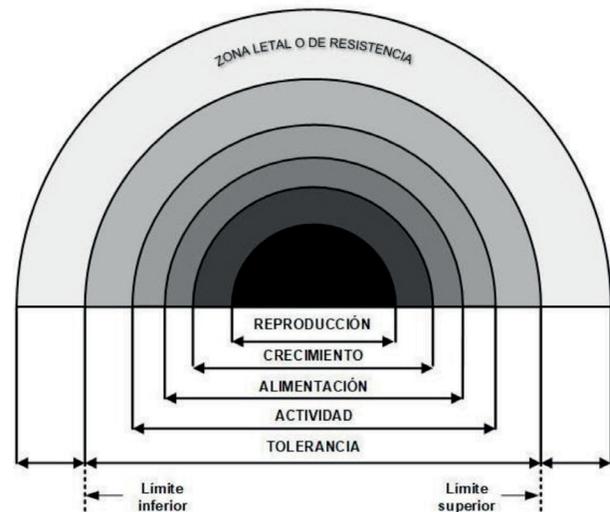


Fig. 2. Intervalos de influencia de un factor ambiental sobre la fisiología de un organismo en cultivo. Modificado a partir de Kutty (1987).

La variación de la temperatura tiene un componente espacial en latitud (Parmesan y Yohe 2003) y altitud (Díaz y Bradley 1997) y un componente temporal en estacionalidad (Pörtner 2001). El uso de herramientas geomáticas permite analizar de manera simultánea estos componentes, y su aplicación para actividades acuícolas tiene una sólida base científica (Meaden y Kapetsky 1991, Nath *et al.* 2000, Kapetsky y Aguilar-Manjarrez 2007, Aguilar-Manjarrez *et al.* 2010). Actualmente se están realizando trabajos encaminados a la modelación espacio-temporal de los posibles

1. Instituto Nacional de Pesca. 2008. Cambio Climático, Pesquerías y Acuicultura. *Memorias del Foro-Coloquio sobre Cambio Climático, Pesquerías y Acuicultura*, México, D.F. 13 y 14 de octubre, 118p.

efectos de la variación de temperatura debido al cambio climático en la piscicultura continental en México (Acosta *et al.* 2016²). Una de las entradas al modelo utilizado para dicho análisis es el intervalo de temperaturas propicias para la fase de engorda de las especies en cultivo. En los análisis preliminares de la bibliografía, la información de temperatura reportada ha resultado tener gran variabilidad dentro de cada especie, según cada autor consultado, para las diferentes especies de interés.

En un modelo validado, el resultado de las simulaciones será tan bueno como la calidad de los datos de entrada (Giorgi y Mearns 1991, Wang *et al.* 2004, Diaconescu *et al.* 2007), por lo que es conveniente utilizar valores que sean representativos de los fenómenos que se quieran modelar. Este trabajo tiene como objetivo analizar los datos reportados como temperaturas óptimas para el crecimiento de las especies de peces que más se cultivan en agua dulce en México, ponderar las posibles razones de su variabilidad y ofrecer una guía para la selección de valores que sean útiles como entradas de modelos dinámicos para toma de decisiones en la política acuícola nacional ante los escenarios de cambio climático más aceptados.

Materiales y métodos

Los sujetos de estudio fueron las cinco especies de peces dulceacuícolas más cultivadas en México para consumo humano directo: mojarra tilapia (*O. niloticus*), carpa (*C. idella*), trucha arcoiris (*O. mykiss*), bagre de canal (*I. punctatus*) y lobina negra (*M. salmoides*). No se consideraron para este estudio los peces de ornato.

Se realizó un análisis de la bibliografía publicada, incluidos trabajos científicos en revistas indizadas y no indizadas, manuales de cultivo y sitios web pertenecientes a organizaciones de prestigio internacional y que están relacionadas con ecología, ecofisiología, pesquerías y acuicultura. La información buscada fue el reporte del

intervalo de temperaturas tanto mínima como máxima que permiten el crecimiento óptimo en condiciones de cautiverio de cada una de las especies objeto de estudio, en su etapa de engorda. Las fuentes de información no científica, como manuales de cultivo y páginas web, fueron revisadas al detalle para llegar a la fuente original de los datos, en caso de ser citada. En los casos de intervalos idénticos de temperatura que hayan sido reportados en dos o más fuentes diferentes, se tomó una sola referencia, en este caso, la fuente más antigua. En el caso de que la fuente no pudiera ser directamente consultada, no pudiera ser citada, o la cita no estaba completa, la información fue descartada, o se refirió a alguna publicación indizada que a su vez la citara.

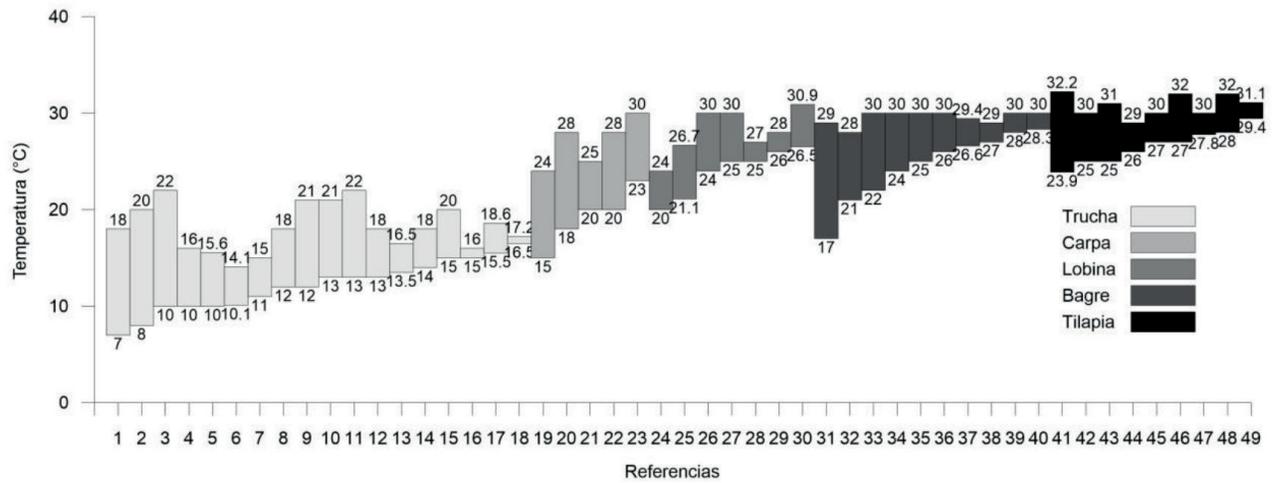
Los valores fueron capturados en tablas por especie, utilizando *software* de hoja de cálculo. Se analizaron por separado el valor mínimo y el máximo del intervalo, estimándose las medias aritméticas y las desviaciones estándar, para luego calcular el coeficiente de variación en porcentaje y graficados utilizando *software* especial para graficado.

Resultados

Los intervalos de temperaturas óptimas documentadas en la literatura para las cinco especies de peces dulceacuícolas cultivadas en mayores volúmenes en México, para consumo humano directo, se presentan en la *figura 3*. En esa gráfica, las barras de los intervalos abarcan del valor mínimo al máximo, y se presentan en los extremos de cada barra en grados Celsius. Las barras están separadas en grupos por especie, cada una identificada por diferentes tonos. En total fueron 49 publicaciones cuyos resultados entraron al análisis, de un total de más de 90 consultadas. Los valores en esa gráfica están ordenados según el valor mínimo del intervalo óptimo, para cada especie. La especie con mayor número de trabajos seleccionados es la trucha, con 18, y el mínimo es la carpa, con tan sólo cinco.

Para la trucha, los intervalos óptimos reportados para el crecimiento abarcaron desde 7 °C hasta 22 °C. El intervalo más corto documentado fue de apenas 0.7 °C de amplitud, de 16.5 °C a 17.2 °C (Jobling 1981), mientras que los más

2. Acosta J, JL Reta, A Asiain. 2016. La acuicultura en México ante el cambio climático: propuesta de un modelo de análisis espacio-temporal. *Memoria del Primer Congreso Iberoamericano de Bioeconomía y Cambio Climático*, Veracruz, Ver. 19 a 21 de octubre de 2016.



Clave	Referencia	Clave	Referencia
1	Woynarovich <i>et al.</i> (2011)	26	Venables <i>et al.</i> (1978)
2	Salie <i>et al.</i> (2008)	27	Stickney (1986)
3	Elliot (1981)	28	Cruz, 2001
4	Piper <i>et al.</i> (1982)	29	Coutant y Cox (1976)
5	Cain y Garling (1993)	30	Cincotta y Stauffer (1984)
6	Bear <i>et al.</i> (2007)	31	SEDAGRO (2006)
7	Mendoza y Palomino (2004)	32	Buentello <i>et al.</i> (2000)
8	Raleigh <i>et al.</i> (1984)	33	García-Ortega y Calvario-Martínez (2008)
9	FAO (2016a)	34	DOF (2013)
10	Meade (1989)	35	Tucker (2000)
11	Coutant (1977)	36	FAO (2016b)
12	FAO (2014)	37	Tucker y Robinson (1990)
13	Klontz (1991)	38	COLPOS (2012)
14	COESA (2012)	39	Chapman (1992)
15	Gall y Crandell (1992)	40	Wurts (1992)
16	FONDEPES (2016)	41	Swann (2000 ⁵)
17	Hokanson <i>et al.</i> (1977)	42	El-Sherif y El-Feky (2009)
18	Jobling (1981)	43	Melard (1986)
19	Ceballos-Orozco y Velázquez-Escobar (1988)	44	Camacho <i>et al.</i> (2000)
20	DOF (2012)	45	Beamish (1970)
21	Horvath <i>et al.</i> (2002)	46	Pandit y Nakamura (2010)
22	Dirección de Acuicultura (2010)	47	McGinty y Rackocy (1989)
23	Flagshands y Hulata (2007)	48	Likongwe <i>et al.</i> (1996)
24	SEPESCA (1987)	49	Popma y Masser (1999)
25	Heidinger (2000)		

Fig. 3. Intervalos de temperaturas óptimas para la fase de engorda de los peces dulceacuícolas más cultivados en México para consumo humano directo, reportadas para cada especie según referencia. Se incluyen etiquetas para los valores mínimo y máximo en grados Celsius.

amplios fueron de 12 °C, uno de ellos entre 8 °C y 20 °C (Salie *et al.* 2008) y el otro entre 10 y 22 °C (Elliot 1981). En la carpa, los valores variaron entre 15 y 30 °C, teniendo el intervalo menor una amplitud de 5 °C (Horvath *et al.* 2002), y el más amplio de 10 °C (DOF 2012). Los intervalos en lobina variaron entre 20 °C como valor mínimo y 30.9 °C como máximo, con los intervalos más pequeños de tan sólo 2 °C de amplitud (25 a 27 °C por Coutant y Cox 1976 y 26 a 28 °C por Cruz-Rivera 2001) y el más amplio de 5.6 °C (Heidinger 2000). Los valores para bagre fueron entre 17 y 30 °C, con el intervalo más pequeño de 1.67 °C (Wurts 1992) y el más amplio de 12 °C (SEDAGRO 2006). Y en tilapia los valores fueron desde 23.88 hasta 32.22 °C, con el intervalo menor en 1.67 °C (Popma y Masser 1999), y el de mayor amplitud de 8.34 °C (Swann 2000³).

En lo concerniente a la disparidad entre intervalos, se encontró que en trucha el menor ancho de intervalo documentado como óptimo es de tan sólo 5.83% del ancho del intervalo mayor, en carpa 50%, en lobina 35.7%, en bagre 14% y en tilapia 16.7%. Así pues, en trucha se encontró la mayor disparidad entre los intervalos reportados y en carpa la menor.

El asunto de la falta de traslape de intervalos óptimos reportados para una misma especie, por su parte, es de mayor interés. Por ejemplo, verificando en la gráfica de la *figura 3*, en trucha existe un intervalo reportado como óptimo entre 10.1 y 14.1 °C (Bear *et al.* 2007), mientras que hay otro que dice que el óptimo para crecimiento está entre 15 y 20 °C (Gall y Crandell 1992). Lo mismo ocurre para lobina (SEPESCA 1987 vs Stickney 1986), bagre (Buentello *et al.* 2000 vs Wurts 1992) y tilapia (Camacho *et al.* 2000 vs Popma y Masser 1999). Con excepción del caso de la carpa, en todas las otras especies ocurrió que al menos dos intervalos contradictorios de temperatura fueron publicados como óptimos para su crecimiento.

En cuanto a los resultados del análisis de estadística descriptiva de los datos para cada especie, se encontró que el promedio de los valores máximos, por un lado, y mínimos, por otro, forman a su vez intervalos de valores de tempera-

tura máxima y mínima para cada especie. Estos intervalos se presentan como barras en la gráfica de la *figura 4*. Los anchos de intervalo calculados restando el valor mínimo del máximo presentan otra tendencia, pues, por ejemplo, el intervalo más corto es el de la lobina (3.59 °C) y el más amplio es el de la carpa (7.8 °C). Esto último se observa en la longitud de las barras en la gráfica. Por otra parte, se aprecia que existe un escalonamiento en dichos intervalos, desde el que tiene valores mínimos más bajos, que es el de la trucha arcoiris, hasta el de valores máximos más altos, correspondiente a la tilapia. Sin embargo, el escalonamiento no es homogéneo, y una falta de traslape entre el intervalo obtenido para trucha y los intervalos de las otras cuatro especies. Es, por tanto, de destacar la aparente separación ecofisiológica que existe entre la trucha y las demás especies, al menos en lo que respecta a las temperaturas preferidas para la etapa de crecimiento en cultivo.

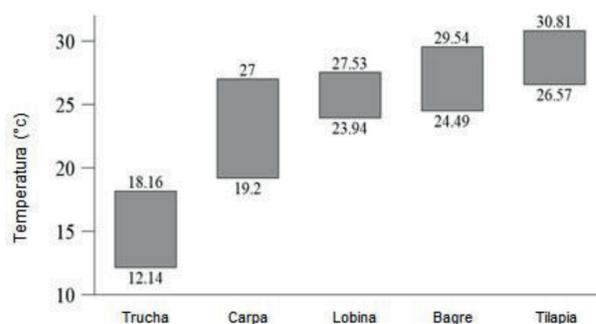


Fig. 4. Intervalos de temperatura óptima para las cinco especies acuáticas, calculados promediando los valores mínimos y los máximos por separado. Datos sólo para fines de análisis espacial.

Discusión

La hipótesis de trabajo con el análisis de diferentes estudios realizados por distintos investigadores en la misma especie, podría ser que los intervalos de temperatura reportados como óptimos sean cercanos entre sí, con variaciones menores. Ahora, en caso de que hubiera algunas diferencias significativas entre los intervalos reportados por diversos autores, se esperaría que existiera un importante traslape de temperaturas entre los valores dado que se trata de la misma especie en la misma etapa de crecimiento, que en el caso

3. Swann L. 2000. A fish farmer's guide to understanding water quality. <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/as/as503.html>

del presente estudio es la etapa de engorda en cultivo. Sin embargo, tal vez el resultado más importante de este estudio es que se encontraron valores muy dispares para una misma especie, en las cinco especies revisadas. Incluso, en algunos casos, los valores de los intervalos reportados por diferentes autores resultaron ser francamente contradictorios. Estas disparidades se dieron en dos ámbitos: por un lado, en la amplitud de los intervalos (calculada como la temperatura superior menos temperatura inferior de cada intervalo reportado) y, por otro, en la falta de traslape entre algunos de ellos. Más aún, como se ha mostrado en los resultados, lo que se menciona en cada estudio para una especie puede ser mutuamente excluyente, ya que en algunas ocasiones no existe traslape entre intervalos considerados óptimos. Si un investigador requiere este dato para incorporarlo a un modelo espacio-temporal de la variación de áreas óptimas para el cultivo, ¿cuál de los intervalos debería considerar como bueno?

Conte (2004) declara que los intervalos de temperatura dentro de los que las especies de peces en cultivo comercial sobreviven, crecen y se reproducen están bien definidos. Los hallazgos del presente trabajo no coinciden con tal afirmación, pues demuestran que, entre autores que trabajan con la misma especie hay contradicciones significativas. Antes que él, Beitinger y Fitzpatrick (1979) indicaban que los peces que cambian condiciones históricas de restricción en las variaciones térmicas de su ambiente tienden a limitar su exposición térmica a un intervalo muy estrecho de temperaturas, que se pueden denominar “preferentes”, siendo cada intervalo una característica estable para cada especie, lo que sugeriría que estas preferencias han sido reguladas por selección natural. Nuevamente, los resultados del presente estudio aparentemente contradicen estas declaraciones, debido a la alta variabilidad intraespecífica registrada en los valores “óptimos”.

Son varias las causas a las que se les puede atribuir la variabilidad detectada en los trabajos analizados. Dichas causas van desde la metodología y los objetivos del estudio en el que se reportó cada intervalo, pasando por aspectos de diferenciación genética, aclimatación e, incluso, la pro-

variabilidad de que quien publica en realidad no reporte algo que conste en su experiencia personal.

Uno de los problemas que surgieron al realizar el presente trabajo es de tipo metodológico. Se encontró que, específicamente en las publicaciones de fuentes indizadas, los datos obtenidos a partir de ensayos bioenergéticos no son reportados en algunos casos como un intervalo óptimo, sino como una temperatura puntual preferida por el organismo. Esto es debido a que en los bioensayos revisados, los investigadores generalmente fijaron valores arbitrarios de temperatura dentro de un amplio intervalo y observaron el valor dentro del cual el organismo respondía con mayor crecimiento. Ejemplos de esto se pueden observar en Niimi y Beamish (1974), Bear *et al.* (2007), Mirea *et al.* (2013), entre otros. Jobling (1981) explica que los peces no se mueven dentro de un gradiente de temperaturas hasta que encuentran un punto preferido y se quedan ahí, sino que buscan dentro de un intervalo al que denomina *zona preferida*. Por lo anterior, la búsqueda de una temperatura óptima para el crecimiento de cualquier especie de pez debe enfocarse en un *intervalo* más que en una temperatura puntual. Así, los estudios encaminados a definir los intervalos óptimos deben utilizar escalas continuas de temperaturas experimentales, para poder entonces conocer dónde inicia y dónde termina este intervalo con mayor precisión.

Otra posible causa de esta variabilidad es la genética, que Cnaai *et al.* (2000) establecen como factor de importancia en la resistencia y la adaptación de los peces a diferencias de temperatura. Molony *et al.* (2004) indicaron que hay cepas de *O. mykiss* que podrían haberse adaptado a hábitats con temperaturas más altas, que pueden exceder los 25 °C en ciertas épocas del año. Lo mismo ocurre para variedades, razas e híbridos de las otras especies estudiadas (*cfr.* Kirpichnikov 1981, McCormick y Wegner 1981, Bettoli *et al.* 1985, Silverstein *et al.* 2000, Watanabe *et al.* 2002). La falta de controles en las cruces realizadas en la mayoría de las granjas comerciales ha ocasionado variaciones muy importantes en las características genéticas de las especies (Dunham *et al.* 2001), lo que justificaría que los intervalos de temperatura óptima pudieran haber variado para cada una de ellas.

Con respecto a la cuestión genética, sería muy útil desarrollar líneas de investigación enfocadas a determinar los intervalos de temperatura óptimos para el crecimiento de organismos provenientes de las cepas, razas, híbridos o variedades de las especies que son más cultivadas en México. Esto puede lograrse mediante bioensayos que se complementen con estudios ecofisiológicos y genéticos, que permitan definir las líneas que se adaptan mejor a las condiciones de temperatura prevalecientes en el país, así como las que pudieran alcanzarse en caso de que ocurran los cambios previstos, dados los diferentes escenarios de cambio climático. Por otra parte, en caso que se diera alguno de dichos escenarios, es muy probable que exista un incremento en la temperatura en cuerpos de agua continentales (Kundzewicz *et al.* 2007). Este evento implicaría, dados los resultados del análisis del presente estudio, que la especie con un intervalo de temperaturas en valores más bajos, en este caso la trucha arcoiris, puede llegar a quedar en un grado de vulnerabilidad significativo ante los posibles efectos del cambio climático. De esta forma, uno de los apremios que pudiera derivarse del presente estudio sería el llamado a trabajar en generar líneas genéticas de trucha arcoiris que puedan ser adaptadas a temperaturas mayores que las que ahora son consideradas como óptimas.

La temperatura a la que son aclimatados los peces antes de ser sometidos a un gradiente de temperaturas del agua determina el intervalo de preferencia y también el intervalo que evitan (Cherry *et al.* 1975, 1977). Lo anterior implica que todo experimento realizado para encontrar un intervalo óptimo de temperaturas para el crecimiento de determinada especie, deberá tener en cuenta qué temperatura se utilizó para la aclimatación de los individuos en las horas o los días previos al experimento. No es arriesgado inferir que, en alguno de los artículos que se analizaron, las temperaturas de aclimatación hayan permitido a los organismos encontrarse cómodos dentro de ciertos intervalos de temperatura diferentes a los de otros organismos de la misma especie aclimatados a temperaturas mayores o menores previamente a la realización del experimento. Johnston y Dunn (1987) explican los efectos de la aclimatación térmica a niveles conductual y fisiológico para diferentes especies de

peces, indicando incluso ajustes en las rutas metabólicas de los organismos y, por tanto, una vez realizados estos ajustes, los organismos podrían observar diferentes preferencias de temperatura a diferentes intervalos de temperatura de aclimatación. Bruneaux *et al.* (2014) demuestran lo anterior utilizando una especie de pez subártico anádromo e indican que los estudios ecofisiológicos deben medir la reacción a la temperatura de los organismos teniendo en cuenta las utilizadas para su aclimatación.

Finalmente, y dado que alguna de la información analizada es literatura gris, proveniente de manuales de cultivo, es muy factible esperar que algunos de los intervalos reportados como óptimos respondan a experiencias de productores que no exploraron sistemáticamente intervalos amplios de temperatura durante su trabajo de producción, limitándose a las oscilaciones térmicas de sus zonas de cultivo. Otra posibilidad es que los productores o el personal que elaboraron los manuales no tuvieran conocimiento de la definición formal de lo que significa “óptimo” para reportar la temperatura en condiciones de cultivo para las especies con las que trabajan. Además, también es posible que quienes escribieran el manual no hayan sido productores, sino que simplemente hayan recogido las experiencias de éstos, y sin mediar comprobación las hayan publicado. También es factible que los redactores hayan revisado información escrita en otros manuales de cultivo, o incluso en trabajos científicos formales, y hayan “adaptado” el intervalo a su entender y conforme supuestos no fundamentados por experiencia o por un estudio sistemático del fenómeno.

Dado todo lo anterior, y con la finalidad de satisfacer la necesidad de encontrar intervalos de temperatura que resulten representativos de las condiciones óptimas para la fase de engorda en el cultivo de las cinco especies analizadas, los datos de la *tabla 1* pueden ser utilizados como entradas para realizar corridas de modelos espaciotemporales para la evaluación de las áreas que pueden ser apropiadas para la engorda de dichas especies, conforme los supuestos de los escenarios de cambio climático de más aceptación en la actualidad. Su utilidad ha sido demostrada usando los datos para trucha (Acosta *et al.* 2016²), con resultados satisfactorios. Estos intervalos,

Tabla 1

Resultados del procesamiento de los intervalos de temperaturas óptimas, calculadas a partir de datos de varios autores, para cada una de las principales especies de peces dulceacuícolas mayormente cultivadas en México

Especie	Temperatura mínima (°C)			Temperatura máxima (°C)			Ancho del intervalo (°C)
	Promedio	DE	CV	Promedio	DE	CV	
Trucha	12.14	2.46	20.3	18.16	2.41	13.3	6.02
Carpa	19.20	2.95	15.4	27.00	2.45	9.1	7.80
Lobina	23.94	2.32	9.7	27.53	2.53	9.2	3.59
Bagre	24.49	3.58	14.6	29.54	0.69	2.3	5.05
Tilapia	26.57	1.75	6.6	30.81	1.13	3.7	4.25

DE = Desviación estándar, CV = Coeficiente de variación.

sin embargo, no tienen fundamento fisiológico directo, ya que son producto de la aplicación de procedimientos estadísticos descriptivos, y no se recomienda utilizarlos como parámetros en actividades acuícolas productivas. El uso de estos datos se recomienda solamente como entrada para corridas de modelos espacio-temporales que los requieran, y se sugiere además que su uso sea temporal, hasta que sean realizados trabajos de investigación ecofisiológica específicos para las variedades genéticas cultivadas actualmente en México.

Conclusiones

- Los datos documentados en diversos trabajos como intervalos de temperatura óptima para la fase de engorda de cinco especies de peces cultivados en México para consumo humano directo, presentan una muy amplia variabilidad intraespecífica.
- La amplia variación de los resultados encontrados impide seleccionar un sólo intervalo de temperaturas para considerarlo óptimo, proveniente de una sola referencia bibliográfica, para cada una de las cinco especies analizadas.
- Las fuentes de variación pueden ser de tipos metodológico, genético, por razones de aclimatación o por errores de procedimiento.
- De las cinco especies, la trucha arcoiris es la que puede estar más expuesta a los posibles incrementos de temperatura pronosticados por los resultados de algunos escenarios de cambio climático, dado el análisis de los intervalos de temperatura óptima reportados en la bibliografía.

- Los intervalos de temperaturas óptimas para el cultivo obtenidos en el presente estudio no tienen fines prácticos para el cultivo de especies piscícolas y, por lo tanto, no deberían tomarse como parámetro. En cambio, su utilidad es en el ámbito de la modelación espacio-temporal, como entradas para procesos de toma de decisiones.
- El uso de los valores calculados a partir de datos bibliográficos puede considerarse apropiado sólo en tanto se desarrollan estudios para definir intervalos más específicos para las cepas y variedades genéticas que se utilizan de cada una de las especies en México.

Literatura citada

- Aguilar-Manjarrez J, JM Kapetsky, D Soto. 2010. The potential of spatial planning tools to support the ecosystem approach to aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings* 17: 176p.
- Ashley PJ. 2007. Fish welfare: Current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science* 104(3-4): 199-235. doi.org/10.1016/j.applanim.2006.09.001
- Bates B, ZW Kundzewicz, S Wu, J Palutikof (eds.). 2008. *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva. 210p.
- Beamish FWH. 1970. Influence of temperature and salinity acclimation on temperature preference of the euryhaline fish *Tilapia nilotica*. *Journal of the Fisheries Board of Canada* 27(7): 1209-1214. doi: 10.1139/f70-143
- Bear EA, TE McMahon, AB Zale. 2007. Comparative thermal requirements of westslope cutthroat trout and rainbow trout: implications for species interactions and development of thermal protection standards. *Transactions of the*

- American Fisheries Society* 136(4): 1113-1121. doi: 10.1577/T06-072.1
- Beitinger TL, LC Fitzpatrick. 1979. Physiological and ecological correlates of preferred temperature in fish. *Integrative and Comparative Biology* 19(1): 319-329. doi: 10.1093/icb/19.1.319
- Bettoli PW, WH Neill, SW Kelsch. 1985. Temperature preference and heat resistance of grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes), bighead carp, *Hypophthalmichthys nobilis* (Gray), and their F₁ hybrid. *Journal of Fish Biology* 27(3): 239-247. doi: 10.1111/j.1095-8649.1985.tb04024.x
- Brown TG, B Runciman, S Pollard, ADA Grant. 2009. Biological synopsis of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences* 2884: 1-27.
- Bruneaux M, M Nikinmaa, VN Laine, K Lindström, CR Primmer, A Vasemägi. 2014. Differences in the metabolic response to temperature acclimation in nine-spined stickleback (*Pungitius pungitius*) populations from contrasting thermal environments. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology* 321(10): 550-565. doi: 10.1002/jez.1889
- Buentello JA, DM Gatlin, WH Neill. 2000. Effects of water temperature and dissolved oxygen on daily feed consumption, feed utilization and growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture* 182(3-4): 339-352. doi: 10.1016/S0044-8486(99)00274-4
- Cain K, D Garling. 1993. Trout culture in the north central region. *North Central Regional Aquaculture Center. Fact Sheet Series* 108: 1-8.
- Camacho E, C Luna, MA Moreno. 2000. *Guía para el cultivo de tilapia Oreochromis spp.* (Gunter, 1984). Subsecretaría de Pesca, SEMARNAP. México. 136p.
- Ceballos-Orozco ML, MA Velázquez-Escobar. 1988. Perfiles de la alimentación de peces y crustáceos en los centros y unidades de producción acuícola en México. FAO, SEPESCA. <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB460S/AB460S00.htm#TOC>
- Chapman FA. 1992. Farm-raised channel catfish. Fisheries and Aquatic Sciences Department, UF/IFAS Extension Document CIR1052. University of Florida. 4p.
- Cherry DS, KL Dickson, J Cairns Jr. 1975. Temperatures selected and avoided by fish at various acclimation temperatures. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 32(4): 485-491. doi: 10.1139/f75-059
- Cherry DS, KL Dickson, J Cairns Jr, JR Stauffer. 1977. Preferred, avoided, and lethal temperatures of fish during rising temperature conditions. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 34(2): 239-246. doi: 10.1139/f77-035
- Cincotta DA, JR Stauffer. 1984. Temperature preference and avoidance studies of six North American freshwater fish species. *Hydrobiologia* 109(2): 173-177.
- Cnaani A, GAE Gall, G Hulata. 2000. Cold tolerance of tilapia species and hybrids. *Aquaculture International* 8(4): 289-298.
- COESA (Consultoría en Optimización Empresarial, S.A. de C.V.). 2012. *Guía empresarial para el cultivo, engorda y comercialización de trucha arcoiris*. Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. 120p.
- COLPOS. 2012. *Cultivo de bagre de canal (Ictalurus punctatus) en jaulas flotantes. Manual del participante*. Colegio de Postgraduados, México. 26p.
- CONAPESCA. 2014. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2014. Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México.
- Conte FS. 2004. Stress and the welfare of cultured fish. *Applied Animal Behaviour Science* 86(3-4): 205-223. doi: 10.1016/j.applanim.2004.02.003
- Coutant CC. 1977. Compilation of temperature preference data. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 34(5): 739-745. doi: 10.1139/f77-115
- Coutant CC, DK Cox. 1976. Growth rates of subadult largemouth bass at 24 to 35. En: Esch GW, RW McFarlane (eds.). *Thermal Ecology II, ERDA Symposium Serie* 40: 118-120. NTISCONF-750425.
- Cruz-Rivera LG. 2001. Biotecnia de cultivo intensivo de lobina (*Micropterus salmoides*) en un sistema de recirculación de agua. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Sonora. México. 85p.
- Diaconescu EP, R Laprise, L Sushama. 2007: The impact of lateral boundary data errors on the simulated climate of a nested regional climate model. *Climate Dynamics* 28(4): 333-350.
- Díaz HF, RS Bradley. 1997. Temperature variations during the last century at high elevation sites. In: Díaz HF, M Beniston, RS Bradley (eds.). *Climatic change at high elevation sites*. Springer Netherlands, pp: 21-47. doi:10.1007/978-94-015-8905-5_2
- Dirección de Acuicultura. 2010. *Cultivo de carpa común (Cyprinus carpio)*. Ministerio de Agroindustria, República Argentina. 11p.
- DOF. 2012. Acuerdo mediante el cual se aprueba la actualización de la Carta Nacional Acuícola.

- Diario Oficial de la Federación*. México. 6 de junio de 2012.
- DOF. 2013. Acuerdo mediante el cual se aprueba la actualización de la Carta Nacional Acuícola. *Diario Oficial de la Federación*. México. 9 de septiembre de 2013.
- Dunham RA, K Majumdar, EM Hallerman, D Bartley, GC Mair, G Hulata, Z Liu, N Pongthana, J Bakos, D Penman, MV Gupta, P Rothlisberg, G Hoerstgen-Schwark. 2001. Review of the status of aquaculture genetics. In: RP Subasinghe, P Bueno, MJ Phillips, C Hough, SE McGladdery, JR Arthur (eds.) *Aquaculture in the third millennium. Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium*, Bangkok, Thailand, 20-25 February 2000, pp: 137-166.
- Ebersole JL, WJ Liss, CA Frissell. 2001. Relationship between stream temperature, thermal refugia and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* abundance in arid-land streams in the northwestern United States. *Ecology of Freshwater Fish* 10(1): 1-10.
- El-Sherif MS, AMI El-Feky. 2009. Performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. II. Influence of different water temperatures. *International Journal of Agriculture and Biology* 11(3): 301-305.
- Elliott JM. 1981. Some aspects of thermal stress on freshwater teleosts. In: AD Pickering (ed.). *Stress and fish*. Academic Press, London, pp: 209-245.
- FAO. 2014. *Manual práctico para el cultivo de la trucha arcoíris*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Guatemala. 44p.
- FAO. 2016a. Programa de información de especies acuáticas. *Oncorhynchus mykiss*. Texto de Cowx IG En: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO [en línea]. Roma. Actualizado 15 Junio 2005. [Citado 12 abril 2018]. http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss_es/en#tcNA00D9
- FAO. 2016b. Programa de información de especies acuáticas. *Ictalurus punctatus*. Texto de Stickney RR. En: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO [en línea]. Roma. Actualizado 1 enero 2004. [Citado 12 abril 2018]. http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Ictalurus_punctatus/es
- Ficke AD, CA Myrick, LJ Hansen. 2007. Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 17(4): 581-613. doi: 10.1007/s11160-007-9059-5
- Flajšhans M, G Hulata. 2007. Common carp - *Cyprinus carpio*. In: Svåsand T, D Crosetti, E García-Vázquez, E Verspoor (eds.). *Genetic impact of aquaculture activities on native populations (GENIMPACT) Final Scientific Report*, pp: 32-39.
- FONDEPES. 2016. *Manual de crianza de trucha en ambientes convencionales*. Ministerio de la Producción, Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero, Perú. 86p.
- Fry FEJ. 1971. The effect of environmental factors on the physiology of fish. In: Hoar WS, DJ Randall (eds.). *Environmental Relations and Behavior. Fish Physiology Vol. 6* Academic Press. New York, 6: 1-98. doi: 10.1016/S1546-5098(08)60146-6
- Gall GAE, PA Crandell. 1992. The rainbow trout. *Aquaculture* 100(1): 1-10. doi: 10.1016/0044-8486(92)90333-G
- García-Otega A, O Calvario-Martínez (comps.). 2008. *Manual de buenas prácticas de producción acuícola de bagre para la inocuidad alimentaria*. CIAD-Mazatlán, SENASICA, SAGARPA. México. 141p.
- Giorgi F, LO Mearns. 1991. Approaches to the simulation of regional climate change: A review. *Reviews of Geophysics* 29(2): 191-216. doi: 10.1029/90RG02636
- Heidinger RC. 2000. A white paper on the status and needs of largemouth bass culture in the North Central Region. Michigan State University, *North Central Regional Aquaculture Center White Papers Series*. 10p.
- Hokanson KE, CF Kleiner, TW Thorslund. 1977. Effects of constant temperatures and diel temperature fluctuations on specific growth and mortality rates and yield of juvenile rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 34(5): 639-648. doi: 10.1139/f77-100
- Horvath L, G Tamas, C Seagrave. 2002. *Carp and pond fish culture*. 2nd Edition. Fishing Books News, Blackwell Science, EU. 170p.
- Huntingford FA, S Kadri. 2009. Taking account of fish welfare: lessons from aquaculture. *Journal of Fish Biology* 75(10): 2862-2867.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Summary for policymakers. In: Stocker, TF, D Qin, GK Plattner, MMB Tignor, SK Allen, J Boschung, A Nauels, Y Xia, V Bex, PM Midgley (eds.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Working group I contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, WMO, UNEP, pp: 3-30.
- Jeppesen E, M Meerhoff, K Holmgren, I González-Bergonzoni, F Teixeira-de Mello, SAJ Declerck, L De Meester, M Søndergaard, TL Lauridsen,

- R Bjerring, JM Conde-Porcuna, N Mazzeo, C Iglesias, M Reizenstein, HJ Malmquist, Z Liu, D Balayla, X Lazzaro. 2010. Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential effects on ecosystem function. *Hydrobiologia* 646(1): 73-90. doi: 10.1007/s10750-010-0171-5
- Jobling M. 1981. Temperature tolerance and the final preferendum-rapid methods for the assessment of optimum growth temperatures. *Journal of Fish Biology* 19(4): 439-455. doi: 10.1111/j.1095-8649.1981.tb05847.x
- Johnston IA, J Dunn. 1987. Temperature acclimation and metabolism in ectotherms with particular reference to teleost fish. *Symposia of the Society for Experimental Biology* 41: 67-93.
- Kapetsky JM, J Aguilar-Manjarrez. 2007. Geographic information systems, remote sensing and mapping for the development and management of marine aquaculture. *FAO Fisheries Technical Paper* no. 458: 125p.
- Keleher CJ, FJ Rahel. 1996. Thermal limits to salmonid distributions in the Rocky Mountain region and potential habitat loss due to global warming: A geographic information system (GIS) approach. *Transactions of the American Fisheries Society* 125(1): 1-13.
- Kirpichnikov VS. 1981. *Genetic bases of fish selection*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg. 412p.
- Klontz, GW. 1991. *Manual for rainbow trout production on the family-owned farm*. Nelson and Sons, Inc., Utah, USA. 70p.
- Kundzewicz ZW, LJ Mata, NW Arnell, P Döll, P Kabat, B Jiménez, KA Miller, T Oki, Z Sen, IA Shiklomanov. 2007. Freshwater resources and their management. In: ML Parry, OF Canziani, JP Palutikof, PJ van der Linden, CE Hanson (eds.). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp: 173-210.
- Kutty MN. 1987. Site selection for aquaculture: Physical features of water. Lectures presented at ARAC (African Regional Aquaculture Centre) for the Senior Aquaculturists. Course. Port Harcourt (Nigeria). Project: *FAO-FI-RAF/82/009; FAO-FI-ARAC/87/WP/12(8)*. Establishment of African Regional Aquaculture Centre. Microfiche no. 297783, 27p.
- Li S, Z Yang, D Nadolnyak, Y Zhang, Y Luo. 2016. Economic impacts of climate change: profitability of freshwater aquaculture in China. *Aquaculture Research* 47(5): 1537-1548.
- Likongwe JS, TD Stecko, JR Stauffer, RF Carline. 1996. Combined effects of water temperature and salinity on growth and feed utilization of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus). *Aquaculture* 146(1): 37-46.
- Mancuso M. 2013. Fish welfare in aquaculture. *Journal of Aquaculture Research and Development* 4(6): 1-2.
- Matthews KR, NH Berg. 1997. Rainbow trout responses to water temperature and dissolved oxygen stress in two southern California stream pools. *Journal of Fish Biology* 50(1): 50-67.
- McCormick JH, JA Wegner. 1981. Responses of largemouth bass from different latitudes to elevated water temperatures. *Transactions of the American Fisheries Society* 110(3): 417-429.
- McGinty AS, JE Rakocy. 1989. Cage culture of tilapia. *SRAC Publication* no. 281, Southern Regional Aquaculture Center, Texas A&M University. 4p.
- Meade JW. 1989. *Aquaculture management*. AVI Book, Springer. 175p.
- Meaden GJ, JM Kapetsky. 1991. Geographical information systems and remote sensing in inland fisheries and aquaculture. *FAO Fisheries Technical Paper* no. 318: 262p.
- Melard C. 1986. Les bases biologiques de l'élevage intensif du tilapia du Nil, Recherches sur la biologie d' *Oreochromis (Tilapia) niloticus* L. (Pisces Cichlidae) en élevage expérimental: reproduction, croissance, bioénergétique. *Cahiers d'Ethologie Appliquée* 10: 224p.
- Mendoza-Bojórquez RJ, AR Palomino-Ramos. 2004. *Manual de cultivo de trucha arcoiris en jaulas flotantes*. Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero del Perú/Agencia Española de Cooperación Nacional/PADESPA. Perú. 119p.
- Mirea C, V Cristea, I Rodica Grecu, L Dediú. 2013. Influence of different water temperature on intensive growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758) in a recirculating aquaculture system. *Lucraři Științifice-Seria Zootehnie* 60: 227-231.
- Molony BW, AR Church, GB Maguire. 2004. A comparison of the heat tolerance and growth of a selected and non-selected line of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, in Western Australia. *Aquaculture* 241(1-4): 655-665.
- Nath SS, JP Bolte, LG Ross, J Aguilar-Manjarrez. 2000. Applications of geographical information systems (GIS) for spatial decision support in aquaculture. *Aquacultural Engineering* 23(1-3): 233-278.

- Niimi AJ, FWH Beamish. 1974. Bioenergetics and growth of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in relation to body weight and temperature. *Canadian Journal of Zoology* 52(4): 447-456. doi: 10.1139/z74-056
- Pandit NP, M Nakamura. 2010. Effect of high temperature on survival, growth and feed conversion ratio of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Our Nature* 8(1): 219-224. doi: 10.3126/on.v8i1.4331
- Parmesan C, G Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421(6918): 37-42. doi: 10.1038/nature01286
- Piper RG, IB McElwain, LE Orme, JP McCraren, LG Fowler, JR Leonard. 1982. *Fish hatchery management*. US Department of the Interior, US Fish and Wildlife Service. Washington, DC. 517p.
- Popma T, M Masser. 1999. Tilapia life history and biology. SRAC Publication no. 283, Southern Regional Aquaculture Center, Texas A&M University. 4p.
- Pörtner HO. 2001. Climate change and temperature-dependent biogeography: oxygen limitation of thermal tolerance in animals. *Naturwissenschaften* 88(4): 137-146.
- Raleigh RF, T Hickman, RC Solomon, PC Nelson. 1984. *Habitat suitability information: rainbow trout*. US Fish and Wildlife Service, FWS/OBS-82/10.60. Washington DC. 64p.
- Salie K, D Resoort, D du Plessis, M Maleri. 2008. Training manual for small-scale rainbow trout farmers in net cages on irrigation dams: water quality, production and fish health. *Water Research Commission Report* no. TT 369/08. Republic of South Africa. 21p.
- SEDAGRO. 2006. *Cultivo de bagre*. Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Dirección General Pecuaria, Gobierno del Estado de México. 3p.
- SEPESCA. 1987. *Manual técnico para el aprovechamiento de las existencias silvestres*. Instituto Nacional de la Pesca. Primera edición. México. pp: 111-130.
- Silverstein JT, WR Wolters, M Shimizu, WW Dickhoff. 2000. Bovine growth hormone treatment of channel catfish: strain and temperature effects on growth, plasma IGF-I levels, feed intake and efficiency and body composition. *Aquaculture* 190(1): 77-88.
- Stickney RR. 1986. *Culture of nonsalmonid freshwater fishes*. CRC Press. Washington, DC. 352p.
- Sumpter JP. 1992. Control of growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 100(1): 299-320. doi: 10.1016/0044-8486(92)90386-Y
- Tucker CS. 2000. Channel catfish culture. In: Stickney, RR (ed.). *Encyclopedia of Aquaculture*. John Wiley & Sons, Inc. New York. pp: 153-170.
- Tucker CS, EH Robinson. 1990. *Channel catfish farming handbook*. Van Nostrand Reinhold Publishers, New York. 454p.
- Venables BJ, LC Fitzpatrick, WD Pearson. 1978. Laboratory measurement of preferred body temperature of adult largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Hydrobiologia* 58(1): 33-36.
- Wang Y, LR Leung, JL McGregor, D Lee, W Wang, Y Ding, F Kimura. 2004. Regional climate modeling: Progress, challenges, and prospects. *Journal of the Meteorological Society of Japan Serie II* 82(6): 1599-1628.
- Watanabe WO, TM Losordo, K Fitzsimmons, F Hanley. 2002. Tilapia production systems in the Americas: technological advances, trends, and challenges. *Reviews in Fisheries Science* 10(3-4): 465-498.
- Woyanovich A, G Hoitsy, T Moth-Poulsen. 2011. Small-scale rainbow trout farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* no. 561, 81p.
- Wurts WA. 1992. Guidelines for producing food-size channel catfish. *World Aquaculture* 23(1): 70-72.

Recibido: 18 de enero de 2017

Aceptado: 23 de marzo de 2018